

A FÖLDTANI KÖZELMÚLT KÖRNYEZETTÖRTÉNETE

THE ENVIRONMENTAL HISTORY OF THE CURRENT GEOLOGICAL PAST

SÜMEGI PÁL³

Abstract

The recent environmental crisis concerns mainly the water habitats, such as oceans and seas and the ice sheets, glaciers, lakes, marshes and bogs. The aim of this lecture to present the formation and evolution of the paleohydrologic systems of the Earth, and their geological and paleontological background. The paleohydrological knowledge includes the evolutionary reconstruction and relationship among the hydrosphere, the atmosphere and the paleo-biosphere. The lecture indicates which revitalization programmes should be applied to survive the industry-based destroying of the hydrosphere. During the lecture, the undergraduates attain a comprehensive knowledge of paleohydrology and understand the long environmental relations and interactions. They become acquainted with the research methods and concepts of the paleohydrological research, as well as the background of the paleohydrological changes, the geo-indicator elements and paleobiological groups. Moreover, they become acquainted with the synthesis of the acquired paleohydrological knowledge via case-studies and become able to utilize this knowledge in other lectures and practices.

Keywords: paleohydrology, environmental crisis, environmental history, water cycles, last 2000 years

1. Bevezető

A paleohidrológia tudományterülete a víz földi ciklusával, a víz eloszlásával, minőségének, mennyiségének és eloszlásának dinamikus változásaival foglalkozik a földtörténeti múltban. Összefoglalóan azt mondhatjuk a paleohidrológiáról, hogy hidrológiai rendszerek múltbeli viselkedésével és változásaival foglalkozó tudomány.

Egy konkrét rendszert pedig úgy definiálhatunk, ha felsoroljuk az elemeit és megadjuk, hogy az elemek között milyen kapcsolatok (hatások – kölcsönhatások) léteznek. Ilyen paleohidrológiai rendszereket alkotnak az exogén geológiai egységek, mint tengerek, tavak, lápok, folyók, patakok, vagy akár történelmi, vagy prehisztorikus emberi hatások nyomán kialakult egykori

³ tanszékvezető egyetemi tanár, Szegedi Tudományegyetem Földtani és Őslénytani Tanszék

mesterséges vízterek (halastavak, kutak, árkok, elárasztott területek). A változó paleohidrológiai körülményeket a kőzetekben, mindenek előtt a múltbeli üledékes kőzetekben - ezekben az egykori időszakokban - bekövetkező változások nyomán, lerakódások és eróziós szintek geológiai, geokémiai, összességében paleohidrológiai bizonyítékaiból vonják le. A szélesebb értelemben vett paleohidrológia foglalkozik továbbá az egykori flóra- és a fauna együttesek geológiai időbeli változásaival, amelyeket a múltbeli hidrológiai változások nagymértékben befolyásoltak. Mindenek előtt a vízi élővilág történeti fejlődése beágyazott a paleohidrológiai rendszerekbe (üledékekbe) és fejlődésük lehetőséget ad az egykori paleohidrológiai rendszerek fejlődésének öslénytani jellemzésére is, de az egykori szárazföldi biotikumok, például erdei környezet vagy szavanna környezet az egykori paleohidrológiai rendszert is alapvetően befolyásolta. A paleohidrológia területéhez sorolhatjuk az egykori hidrológiai és napjaink hidrológiai rendszereinek tanulmányozása során végzett vizsgálatok nyomán készült modellezéseket, amelyek az egyes paleohidrológiai rendszerek változásait (tengerszint emelkedése, folyómedrek áthelyeződés, ennek nyomán erózió és akkumuláció átalakulás, tavak – lápok medencéjének feltöltődése, stb.) vetítik ki a jövőre nézve.

A paleohidrológia tudománya mind időbeli kifejlődésben, mind térbeli kifejlődésben szintezett, azaz az időbeli lépték, időbeli felbontás, és térbeli lépték, térbeli felbontás nyomán értelmezhetőek csak a megfigyelések és vizsgálatok adatai. Ezen adatok nélkül csak hipotézisnek, vagy hipotézis generálásának tekinthetjük a megjelentetett eredményeket, vagyis geokronológiai és térbeli korrekt tudományos lehatárolás nélkül nem lehet tudományos szintű paleohidrológiai tanulmányozásról, analitikus vizsgálatról beszélni, maximum a megfigyelések nyomán megfogalmazott hangos gondolatról, hipotézisek görgetéséről.

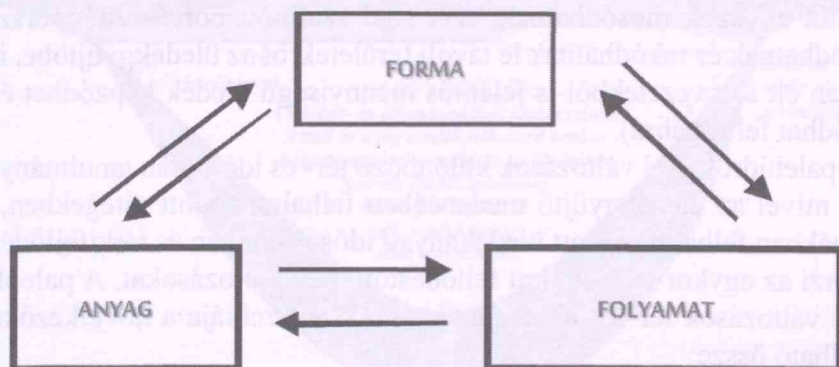
2. Üledékgyűjtő medencék

Az üledékgyűjtő medencék kiemelkedő jelentőségű földtani (exogén geológiai) objektumok a paleohidrológiában, mivel a bennük, vagy rajtuk felhalmozódott üledékes kőzetanyag üledékföldtani, geokémiai és a kőzetanyagba zárt öslénytani információk révén tárhatók fel és rekonstruálhatóak a múlt eseményei. A múlt eseményinek dokumentumai, anyagi formái az üledékgyűjtő medencében felhalmozódott rétegekbe zárva, beágyazódva, vagy geológiai réteget alkotó módon maradnak fenn. A geológia, az öslénytan művelői ezeket a geológiai rétegeket alkotó, vagy a rétegekbe zárt formákat (például az ásványok, kőzetek, ősmaradványok) azonosítják munkájuk során, il-

letve anyagvizsgálatokat végeznek ezeken a rétegeken, üledékes rendszereken, ősmaradványokon, és így rekonstruálják az egykori, már megtörtént folyamatokat. Ezt a megközelítést forma – anyag – folyamat összefüggésnek, a geológiai és őslénytani rekonstrukció alapjának tekintjük (1. ábra). Az üledékgyűjtő medencéket kitöltő üledékes képződményeknek már a formai jegyei visszatükrözik a leülepedési környezetet, az egykori geológiai folyamatokat. Éppen ezért már az üledékes rétegek formai elemzése, a szerkezeti bélyegek makroszkópos felismerése, az ún. „üledékes fáciesek” leírása alapvető és első lépése az üledékgyűjtő medencében felhalmozódott üledékanyag tudományos megismerésénél. Üledékes fáciesek ismerete és leírása nélkül nem lehet az üledékgyűjtő medencékben felhalmozódott üledékes anyagot és rétegeket megismerni.

1. ábra: Forma – anyag – folyamat kapcsolatrendszer a földtudományi rekonstrukció alapja - Alvaro Alto, Frank Llyod Wright, Hugo Haring (1925, Princeton University) építészmérnökök elképzelései és gondolatai nyomán átrajzolva

Fig. 1. The network of form – material – process which is the base of the reconstruciton of the earth science (based on the thinks and ideas of the Alvaro Alto, Frank Llyod Wright, Hugo Haring (1925, Princeton University)



(Forrás: saját ábra)

Az üledékgyűjtő medencékben felhalmozódott üledékes rétegek finoman lamináltak, azaz 10 mm-nél (1 cm-nél) vékonyabb kifejlődésűek, vagy ennél vastagabb, réteges kifejlődésűek és akkor rétegeket alkotó üledékes kőzetes-
teket alkothatnak. Ezek a rétegek az üledékgyűjtő medence befogó területről erodálódott, áthalmazódott és az üledékgyűjtő medencében felhalmozódott üledékből alakulnak ki, és az üledékgyűjtő méretétől függően akár több km²

kiterjedésűek is lehetnek. Az üledékréteg kifejlődése az erózió módjától, sebességétől, a szállító közegtől, annak módjától, a szállítási távolságtól és az akkumuláció sebességétől, kifejlődésétől, az üledékgyűjtő medence jellegétől, hogy pozitív exogén geológiai (jégtakaró, löszterület), vagy negatív exogén geológiai (óceánok, tengerek, beltengerek, tavak, lápok) formát alkotó üledékgyűjtő medencében halmozódott-e fel az üledékanyag. A paleohidrológiai rendszerek közé elsősorban a negatív üledékgyűjtő rendszerekkel foglalkozunk, de tágabb értelemben (sensu lato) ide tartoznak a jégtakarók, gleccserek pozitív exogén geológiai üledékgyűjtő formái is. Természetesen az üledékgyűjtő medencékben felhalmozódott üledékanyag rétegeinek kifejlődését a felhalmozódás során, vagy azt követően kialakult kőzetté válási folyamat, a diagenezis is erőteljesen befolyásolja. Ez utóbbi jelentős mértékben függ az üledékgyűjtő medencében kialakult vízoszlop és üledékoszlop vastagságától, a felhalmozódott üledék jellegétől.

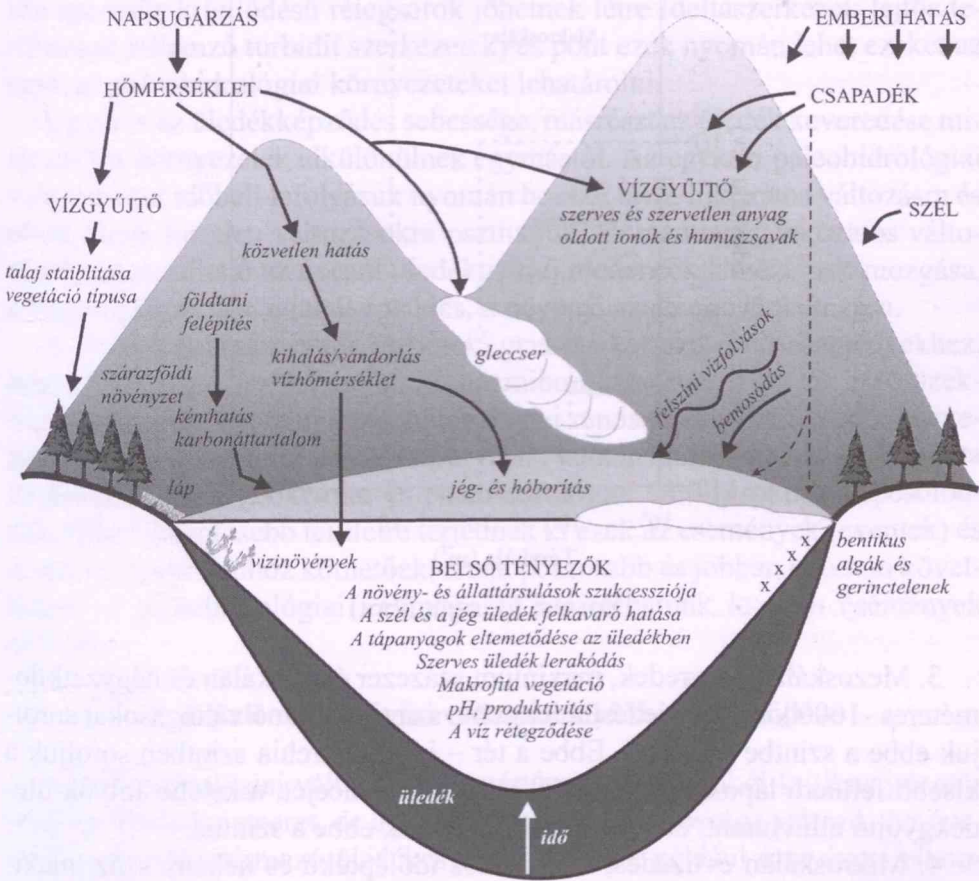
Az üledékgyűjtő medencében felhalmozódott rétegekben, laminákban idősorrendben őrződnek meg a múlt dokumentumai és ennek nyomán a paleohidrológiai modell lényege az, hogy az üledékgyűjtő medrét és vízgyűjtő területét (pontosabban üledék befogó területét) lehatárolják a vízgyűjtő exogén geológiai, más néven geomorfológiai, illetve geológiai adottságai, a természetes vízválasztó (üledékgyűjtő) vonala, határai. A vízgyűjtő (üledékgyűjtő) területéről származó anyagok, a lejtők alapkőzetéből, talajából lepusztult anyagok mosódhatnak, szél által szállított por és virágporszemek hordódhatnak és rakódhatnak le távoli területekről az üledékgyűjtőbe, illetve a tóban élt szervezetekből is jelentős mennyiségű üledék képződhet és halmozódhat fel (2. ábra).

A paleohidrológiai változások különböző tér- és időskálán tanulmányozhatóak, mivel az üledékgyűjtő medencében felhalmozódott rétegekben, vagy laminákban felhalmozódott üledékanyag idősorrendben és térkifejlődésében megőrzi az egykor lejátszódott fejlődéstörténeti változásokat. A paleohidrológiai változások tér- és időskála (3. ábra) hierarchiája a következőképpen foglalható össze:

1. Globális, megaskálán történő változások – százmillió években mérhető változások hierarchia szintje. Óceáni léptékű, millió km²-es kiterjedésű (például a görög mitológiában a Földünket tartó Atlas apjáról elnevezett paleozoikum Japetus óceán, és a nővéréről elnevezett Rhea – Rheic óceán, vagy Achilles anyjáról, az ezüstitlábú Tethysről elnevezett mezozoikum óceán) üledékgyűjtő medencék fejlődéstörténetét fogja át ez a hierarchia szint.

2. ábra: Természetes üledékgyűjtőben kapcsolata az üledékgyűjtő területtel, üledékképző környezettel, a réteggépző környezetben lejátszódott akkumulációs, beágyazódási és réteggépző folyamatok

Fig. 2. A diagrammatic representation of the aquatic ecosystem. The ecosystem includes the lake and the catchment. External factors affect both the catchment and the lake. Internal (autogenic) factors act in the catchment and the state of the catchment affects the lake. The lake is also affected by its own numerous internal factors



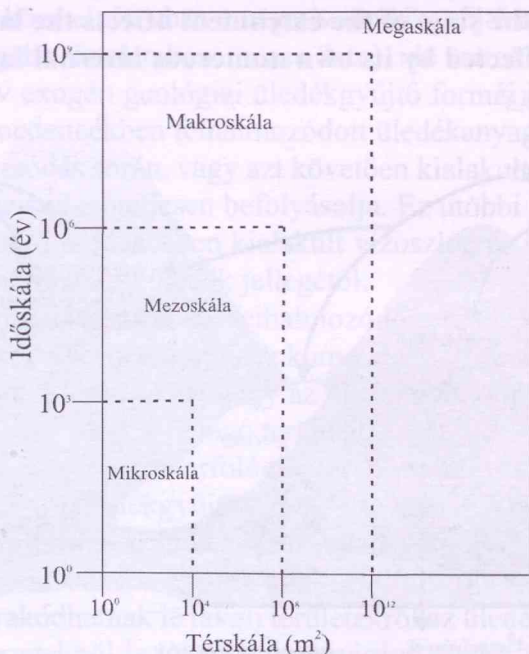
(Forrás: Gaillard & Birks 2007 nyomán magyarra fordítva, átszerkesztve, módosítva: Jakab, Sümegi, 2012)

2. Makroskálán – évmilliók alatt és 100 000 négyzetkilométeres hierarchia szinten történő változások tartoznak ebbe a szintben (3. ábra). Regionális paleohidrológiai változások tartoznak ide, amelyekhez a hosszú földtani

életű tavak (például Bajkált-tó), beltengerek (mint Pannon beltó) a legnagyobb folyók és folyamok és üledékgyűjtő medencéjük, deltájuk paleohidrológiai fejlődéstörténete kapcsolódik.

3. ábra: A paleohidrológiai folyamatok térbeli és időbeli szintezettsége

Fig. 3. Spatial and temporal leveling of paleohydrological processes



(Forrás: új, saját ábra)

3. Mezoscálán évezredek, maximum százezer éves skálán és négyzetkilométeres -1000 km² kiterjedésű hierarchia szinten történő változásokat soroljuk ebbe a szintbe (3. ábra). Ebbe a tér – idő hierarchia szintben soroljuk a kisebb területű lápok, tavak üledékgyűjtő medencéjét, a kisebb folyók üledékgyűjtő allúviumát, deltarendszerét soroljuk ebbe a szintbe.

4. Mikroskálán évtizedes, évszázados időléptékű és néhány száz, maximum ezer m² térskálához sorolható változásokat sorolhatjuk ebbe a tér/idő hierarchia szintbe. Kisebb lápok, folyók, tavak, köztük rövid életű ún. „efemer” tavak fejlődéstörténete, paleohidrológiai változásai kapcsolódnak ehhez a szinthez.

A fentebb felsorolt tér/idő skálán homogénnek tekinthető rétegek képződnek, amelyek mind térben, mind időben megőrzik az információkat az egykori üledékes környezetről. A rétegsoron belül egy adott rétegre rátelepült fiatalabb réteget fedőnek, az adott réteg alatt elhelyezkedő réteget fekünek

nevezzük. Ezek a törvényszerűségek a tágabb értelemben vett paleohidrológiai rendszerekhez tartozó nyári és téli félévek során képződött laminációt mutató jégtakarókban és gleccserekre is igazak.

Természetesen a rétegek kialakulásával párhuzamosan (szingenetikusan), vagy utólag (posztgenetikusan) a rétegek erodálódhatnak is és ennek nyomán információ vesztés alakulhatott ki a rétegsorban. Ez különösen az üledékgyűjtők peremén (folyók deltájánál, a tengerek, vagy óceánok kontinentális régiójánál kialakult lejtőterületeken) fejlődnek ki. Ezekben a régiókban teljesen speciális kifejlődésű rétegsorok jöhetnek létre (deltaszerkezet: lejtős területekre jellemző turbidit szerkezetek) és pont ezek nyomán lehet ezeket az egykori paleohidrológiai környezeteket lehatárolni.

Ugyanis az üledékképződés sebessége, másrészt az üledék keveredése miatt ezek a környezetek elkülönülnek egymástól. Az egykori paleohidrológiai változásokat időbeli lefolyásuk nyomán hosszú távú, fokozatos változásra és rövid idejű, hirtelen változásokra oszthatjuk. Hosszú távú, fokozatos változásokhoz sorolható az óceáni üledékgyűjtő medencék lemezeinek mozgása, a hegységképződés, a talajképződés, a növényi szukcesszió változása.

A rövid idejű események (eventek) gyakran katasztrofális eseményekhez, nagy viharokhoz, szökőárokhoz (cunamihoz), földrengésekhez, erdőtüzekhez és az ennek nyomán a paleohidrológiai rendszerekbe bemosódó, szinteket alkotó pernyemaximumokhoz, árvizek, vulkán kitörések, cunamik okozta üledékszerkezeti, geokémiai és paleohidrológiai változásokhoz kapcsolódnak. Minél jelentősebb területre terjednek ki ezek az események (eventek) és minél rövidebb időhöz köthetőek, annál pontosabb és jobban nyomon követhetőek a paleohidrológiai változásokat határolhatunk le ezen események nyomán.

3. A paleohidrológiai változások időbeli kifejlődése

A paleohidrológiai változások megértése szempontjából kritikus jelentőségű az időskála ismeret, de a kormeghatározás pontossága változó. Az óceánok mélyéről származó üledékes magmintáknál például ezer éves felbontásnál pontosabb felbontást sokszor lehetetlen elérni. A legfinomabb időléptékű paleohidrológiai változásokat a jégtakarókban, gleccserekben található jégaminák, a laminált tengeri és tavi üledékek, köztük a jégtakaró előtt tavakban, az ún. proluviális tavakban felhalmozódott laminált üledékek, a varvok nyomán, illetve a cseppkövek növekedési vonalainak elemzése nyomán rekonstruálhatjuk. Ezek a megközelítések féléves felbontású időbeli megközelítéseket tesznek lehetővé és ezek a megközelítések adják az emberiség számára a legteljesebb és legpontosabb paleohidrológiai adatokat.

Sok természetes paleohidrológiai változás időbeli szabályosságot, ciklusosságot mutat, még akkor is, ha a jelenlegi igen rövid idejű, nagy ritkán évtizedes tapasztalatokra épült megfigyelések és észlelések nyomán ez nem nyilvánvaló, egyszerűen azért, mert a ciklusok hossza meghaladja az évtizedes skálán történő észleléseket. Ilyen ciklusosságot mutatnak a csillagászati jelenségek, amelyek közül már többet hasznosít az emberiség több ezer, több tízezer éve – ilyenek a nappalok és éjszakák váltakozása, a holdfázisok, az ár-apály jelensége, az évszakok, és maga az év is.

Ezek a ciklusos természetben megfigyelhető változások alkotják az emberiség naptárainak és időméréseinek alapját. Ismereteseek azonban ennél jóval hosszabb idejű változások, csillagászati periódusok is, amelyek paleohidrológiai változásokat okoznak. Ezeknek a csillagászati ciklusok ideje 100 ezer, 41 ezer és 23 ezer év és a Föld orbitális és axiális paramétereivel (excentricitás, tengelyferdeség változása, precesszió) áll összefüggésben.

Ezek közül a precessziót ismerte fel legkorábban az emberiség, bár a sumérok, az egyiptomiak, az amerikai földrészen élő olmékok és maják egyaránt felismerték, és hatását (a csillagok és csillagképek lassú és folyamatos látszólagos mozgását az égbolton keleti irányba) is ismerték, de az ógörög *Hipparkhosz* írta le először Krisztus előtti 150-ben és ő nevezte el előrenyomulásnak (praecessio-nak).

A precesszió (a Föld forgástengelyének kúppalást menti elfordulása) átlagos periodicitása pedig 21,7 ezer év, 19 és 23 ezer éves fő periódusokkal. A precesszió periódusa, mivel a Föld forgási sebességétől és a Föld–Hold távolságtól függ, a földtörténet során változott. Maga a mozgás oka, hogy a földpálya síkja $23^{\circ} 27'$ szöget zár be az egyenlítővel, ezért az egyenlítői – legszélesebb szélességi kör – nem a Nap felé irányul. Ennek következtében a Nap forgónyomatékot fejt ki az egyenlítői övezetre, amellyel a földtengelyt az ekliptikára (a Nap egy év alatt megtett látszólagos útja az égbolton) merőleges irányába igyekszik fordítani.

A precesszió periódusa állandó tengelyferdeség esetén 25 730 év lenne. A tengely azonban „billeg”, 40 000 éves periódussal 22° és $24,5^{\circ}$ között változik (tengelyferdeség változása). Így a póluspont egy önmagába nem záródó görbe mentén vándorol, a periódusa pedig 25 786 évre – kerekítve 26 ezer évre módosul. Viszont ez a jelenlegi időbeli trend a földtörténet során ez többször megváltozott és ennek nyomán ezek a paleohidrológiai rendszerre ható orbitális ciklusok is változtak.

A rendszer ciklikusságára a földpálya síkjában keringő Hold is hatással van (ún. „*nutáció*”), továbbá a precíz számítások még az ekliptika elmozdulását is figyelembe veszik. A precesszió teljes ciklusa (az ún. „*plátói*” év,

vagy más néven nagyév) alatt a csillagképek, az északi és déli égi pólus helyzete folyamatosan változik és az égi egyenlítő és ekliptika metszéspontjainak, a tavaszpontnak és az őszpontnak a helyzete is változik és a Nap ekliptika menti látszólagos mozgásával ellentétes irányban körbe érnek az ekliptikán. Itt kell megjegyeznünk, hogy ennek nyomán a közel-keleti és európai kultúrában az év felosztására használt 12 (eredetileg 13 holdhónaphoz tartozó) csillagkép – állatövi jegy helyzete folyamatosan változott, ezért a mai csillagképek és állatövi jegyek nem feleltethetők meg a történelembeli, vagy prehisztorikus időbelieknek.

Az ógörögök idejében a március 21-én, a ma Kos csillagképben lévő tavaszpont még a Halak csillagképnél jelentkezett. Az indiai (védikus) naptáraknál, mivel ott a sziderikus, ún. „*állócsillagokra*” alapozott naptárt használták nem jelentkezett hasonló időbeli elcsúszás. A precesszió miatt a csillagtérképek és csillagkatalógusok esetében mindig meg kell adni azt az időpontot, amelyre a csillagpozíció adatai vonatkoznak. Ezt az időpontot kiinduló időpontnak (epocha-nak) nevezzük, mert a naptárt használó közösségek ehhez igazítják a naptáraikat – keresztény naptáraknál Jézus születési dátuma, muszlim naptáraknál Mohamed áttelepülése (hidzsra) – (Krisztus utáni 622 július 16).

Összességében a precesszió 17-26 ezer év közötti ciklusos kifejlődést, változást okozott a paleohidrológiai rendszerekben. Ugyanis ezeknek a ciklusos változásoknak a hatására ezen ciklus hossza jellemző elemösszetételben, ásványösszetételben, szemcseösszetételben, és fosszília összetételben jelentkező átalakulásokat okoztak a paleohidrológiai rendszerben, üledékgyűjtő medencékben felhalmozódott üledékekben.

A forgástengely iránya jelenleg a függőlegessel $23,5^\circ$ -os szöget zár be (itt függőlegesen a Föld keringési síkjára állított merőleges irányát kell érteni), de ez a szög 41 ezer éves periódussal ingadozik, $21,5^\circ$ és $24,5^\circ$ között. A hajlásszög növekedésének hatására az évszakok szélsőségesebbeké válnak mindkét félgömbön. Ennek nyomán a viharok, a vihardagályok gyakoribbá válnak és a nyomukban keletkezett kevert szerkezetű üledékek gyakorisága is megemelkedik az üledékgyűjtő rendszerek peremén.

Az excentricitás, azaz a Föld Nap körüli keringési pályájának módosulása 100 és 410 ezer éves periodicitást mutat. Megnyúlik, s nagy excentricitású ellipszis alakot ölt, majd ismét szinte tökéletesen kör alakúvá válik a pálya. Ha nő a pálya excentricitása, akkor nő a különbség a Nap és a Föld legkisebb és legnagyobb távolsága között. Ennek az lesz a következménye, hogy az egyik félgömbön szélsőségesebbé, a másikon pedig mérsékeltébbé válnak az évszakok. Jelenleg a Föld akkor távolodik el legjobban a Naptól, amikor a

déli félgömbön tél van, aminek következtében a déli félgömbön a tél valamivel hidegebb, a nyár viszont valamivel melegebb, mint az északi féltekén. *James Croll* (1821-1890) skót kutató volt az első (1875), aki *Adémar* francia matematikus (1846) ötletét felhasználva a precesszió változásai nyomán a Földünkre jutó, paleohidrológiai rendszerekre ható hőmérsékleti és szoláris energia változásokat a földtörténeti múltban (1800-tól számítva 3 millió évre visszamenően és 1800 évet kiindulási évné tekintve a jövőbeli 1 millió évre vonatkozóan) kiszámította. Viszont a megoldásra *Milan Milanković* (1879 – 1958) szerb mérnök – matematikus jött rá, mikor kiszámította, hogy az excentricitás, a tengelyferdeség változása, a precesszió, ezen három csillagászati tényező együttes hatására a nyári napsugárzás mennyisége az északi sarkkör közelére vonatkozóan akár 20%-kal is változik az idő folyamán.

Ez pedig elegendő ok lehet az északi félteke szárazföldjének északi részét borító jégmező előrenyomulására, amikor hűvös nyarak és enyhe telek váltogatják egymást. Vagyis a paleohidrológiai rendszereket alapvetően befolyásoló hőmérsékleti tényező ciklikusan változott a földtörténet folyamán. Ugyanakkor meg kell említeni, hogy *Milanković* nem volt kellően jártas az elméleti csillagászatban és az égi mechanikában, ezért a számításokat munkatársa, *Vojislav Mišković* végezte el, és a *Milanković*-féle föld pályaeleminek változásán alapuló besugárzási átalakulások nyomán kialakult hőmérsékleti változást az utolsó 600 ezer évre (akkor ennyi idősnak gondolták a jégkört (pleisztocén) és a jelenkort (holocén), azaz a negyedidőszakot (Quarter).

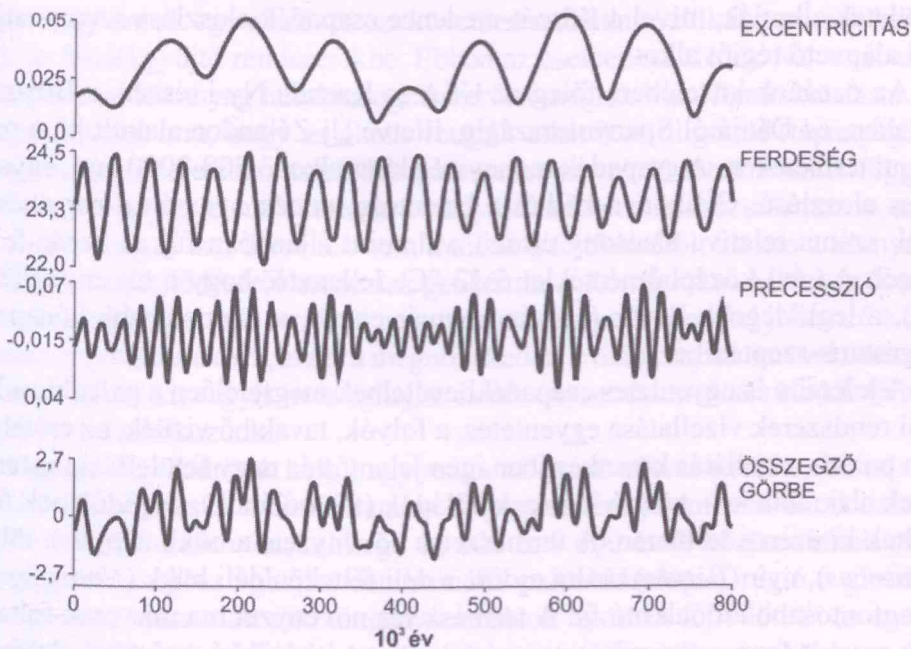
Milan Milanković úttörő munkájától kezdődően az excentricitási, a tengelyferdeségi és a precessziós indexet többen is kiszámították, az egyik legátfogóbb munkát *André Berger*, 1942-ben született belga klimatológus professzor végezte el, az által kiszámított változásait mutatja az elmúlt 800 ezer évben (4. ábra). A legelső görbe e periodikus változások eredőjéből adódik (4. ábra). A paleohidrológiai rendszereket alapvetően befolyásoló egykori éghajlati változásokat rekonstruáló *Berger* féle modellnek kiemelkedő jelentősége, hogy a legújabb antarktiszi jégtakaró fúrások nyomán 800 ezer évig, sőt a legújabbak alapján 1,2 millió évig 20-40 éve felbontásban rekonstruálhatjuk a megtörtént éghajlati eseményeket. Ezek a közvetlen őséghajlati adatok teljes mértékben alátámasztják a *Berger* fél matematikai modell által rekonstruált éghajlati változásokat az elmúlt 800 ezer év során. A Föld pályaelem változásai nyomán kialakult extraterresztriális ciklusok hatása az éghajlatra nyilvánvaló, de áttételes.

Az eddigi adatok alapján a pályaelemek módosulása a besugárzás mértékének szezonálisitását változtatja, amely a legjelentősebb paleohidrológiai (légkör – óceáni) rendszert befolyásolja és az óceáni és a légköri áramlási

rendszereken keresztül a hő kiegyenlítődés mértékének változását eredményezi.

4. ábra: A keringési pályaelemek és a Földre jutó szoláris energia (összegző görbe) André Berger (1978) által kiszámított változásai az elmúlt 800 ezer évre vonatkozóan

Fig. 4. Simple rule accounts for onset of ice age deglaciations over the past 800 000 years (Modified from Berger, André L. (1978): Long-Term Variations of Caloric Insolation Resulting from The Earth's Orbital Elements. Quarternary Research, 9, 239–267.



Az indexek számított értékei (Berger 1978)

(Forrás: Berger 1978 nyomán magyarra fordítva átrajzolva, módosítva)

Az éghajlatváltozások a lehűlések idején jelentősebbek, de a felmelegedési szakaszokban is kimutathatók. Az üledékgyűjtő medencékben üledék-képződés jellegét a hőmérsékleti változásoknál is jobban befolyásolja a csapadék mennyiségének változása, de az egyéb klímaelemek (pl. szél) hatása sem hanyagolható el. Mivel az üledékgyűjtő medencékben felhalmozódó üledék típusa, az üledékgyűjtő körül kialakult mállás fajtája, a fizikai és kémiai mállás aránya, az erózió válfaja éghajlati függően alakul és alakult ki, ezért kiemelkedő jelentőségű kérdéskör, hogy ezek az üledékgyűjtő meden-

cék milyen éghajlati – exogén geológiai környezetben alakultak ki. A legnagyobb kiterjedésű óceáni és tengeri üledékgyűjtő medencék több klimatikus exogén geológiai övezeten is átnyúlnak, így az üledékképződési lito- és biofáciesek igen eltérőek lehetnek ugyanabban a jelentős kiterjedésű üledékgyűjtő medencékben.

Ugyanakkor a sarki régiótól a trópusi éghajlati övekig klimatikus exogén geológiai övezeteket, akutálgeológiai régiókat lehet elkülöníteni, amelyekben a mállás – erózió – szállítódás – akkumuláció menetének bizonyos hasonlóságot – homogén mintázatot mutat. A Kárpát-medence számára az egyik legfontosabb exogén geológiai régió az óceáni éghajlati hatás alatt álló területek alkotják, mivel a Kárpát-medence csapadék eloszlása szempontjából alapvető régiót alkot

Az óceánok közelében, főleg az USA és Kanada Ny-i részén, a Brit-szigeteken, és Dániától Spanyolországig, illetve Új-Zélandon alakult ki, a part menti területeken. A csapadék mennyiség kiemelkedő 800-2000 mm, egyenletes eloszlású. Gyakori a köd és a borultság, ennek nyomán a napsütéses órák száma relatíve alacsony értékű, valamint állandóan fúj az óceán felől a szél. Az évi középhőmérséklet 5-12 °C. Jellemző, hogy a tél enyhe (3-8 °C), a leghidegebb hónap február. A nyár enyhe, a legmelegebb hónap az augusztus-szeptember.

A jelentős és egyenletes csapadékbevételnek megfelelően a paleohidrológiai rendszerek vízellátása egyenletes, a folyók, tavak bő vízűek, az erőteljesen pozitív vízellátás következtében igen jelentős és nagy felületű lápos területek alakultak ki – takaró lápok, lejtőlápok (takarólápok), dagadólápok fejlődtek ki ezen a területen. A természetes növényzete a bükk (*Fagus*), tölgy (*Quercus*), nyír (*Betula*) uralta erdők, a déli féltekén déli bükk (*Nothofagus*) a legfontosabb erdőalkotó fa. A természetes növényzet ma már csak foltokban maradt fenn, mert szinte az egész területet legelőkké, szántóvá alakították és az egész régió sűrűn lakott. Így napjainkban, az elmúlt 500-600 évben zajló üledékképződést az emberi hatások alapvetően befolyásolták, a természetes paleohidrológiai folyamatokat csak az üledékgyűjtő medencékben felhalmozódó üledékek középkor előtti szintjeinek elemzésével lehet rekonstruálni. Az óceáni paleohidrológiai rendszerek szempontból a legkiemelkedőbb jelentőségű a MacKereth brit kutató kezdeményezésére kialakult kutatási irány, az üledékgyűjtő medencék üledékes rétegeinek geokémiai elemzésén alapuló környezeti rekonstrukció. A Brit-szigetek atlantikus területeit kutató MacKereth szerint az üledékizitási veszteség módszerrel (LOI) megkapott szervetlen anyag tartalom és a teljes kémiai elemzés során meghatározott Na- és K-tartalom összefüggést mutat az üledékgyűjtő medence vízgyűjtő területének eróziójával. Ha a vízgyűjtő területet zárt növényzet (a jelen esetben atlantikus erdő),

az alapkőzetet málladék (ún. „*regolit*”) és talaj borítja, akkor a vízgyűjtő terület erózió szempontjából stabil rendszert alkot, a felszíni vízfolyások elsősorban vízben oldott ionokat szállítanak a tóba, a bejutó szilikát szemcsék mennyisége elhanyagolható. A növényzet éghajlati hatásra vagy emberi tevékenységre történő megbomlása talajeróziót indít el és a tavi üledékes rendszerekbe ekkor eutrófizációt indukáló elemek (kálium, nitrogén, foszfor) kerülnek és ezeknek az elemeknek a hatására az algák elszaporodnak és szerves anyagban dús agyag vagy kőzetliszt, ún. „*detritusz*” halmozódik fel. A növényzet megbomlásának hatására tehát (éghajlati változás, természetes vagy ember által okozott erdőtűz, erdőirtás) a vízgyűjtő terület instabillá válhat, az erózió lepusztíthatja a talajtakarót vagy annak egy részét és ezt követően mállatlan szilikátszemcsék kerülnek az üledékgyűjtő rendszerekbe. Ebben az esetben az üledék Na- és K-tartalma, szervesetlen anyag tartalma ugrásszerűen megnő. MacKereth kutatásai során rámutatott arra, hogy az általa vizsgált atlantikus oligotróf (tápanyagban szegény) tavak esetében az üledék vastagsága az erózió intenzitásától függött és a szerves anyag jelentős része is a vízgyűjtő terület talajából származott, azaz az általa vizsgált tavi üledékek nem a tónak a fejlődéséről, hanem a környező területek talajfejlődéséről hordoztak geokémiai információkat. Mivel az óceáni éghajlati hatás alatt álló területeken egyenletes csapadékevétel jellemző a természetes rendszerekben, ezért a megnövekedett erózió csapadéknövekedés hatására fejlődik ki, vagyis itt is éghajlat és növényzet determinált üledék felhalmozódással találkozunk.

Ugyanakkor tudnunk kell, hogy maga az észak-atlanti területen az atlanti óceáni éghajlat csak a Golf áramlás folytatásaként jelentkező észak-atlanti áramlás kialakulása után, mintegy 10 000 és 9 000 évek között alakult csak ki. Vagyis az egész éghajlat determinálta paleohidrológiai régió a globális besugárzás hatása alatt álló tengeri áramlások nyomán fejlődött ki és ennek a hatására változik, alakul át. A nedves kontinentális területek a Földön a 40° szélességi körtől északra helyezkednek el. Jellemző, hogy csak az északi féltekén a nyugat-kelet irányban elnyúlt kontinensek miatt alakultak ki, az óceántól távolodva a kontinentális hatás egyre nő. Így ez a régió fokozatosan a száraz kontinentális paleohidrológiai régióba (száraz kontinentális exogén geológiai - aktuálgeológiai régióba) vált át. Magyarország is ebbe az éghajlatba tartozik. Az évi középhőmérséklet 0 – 15 °C, az évi hőingás meghaladja a 20 °C-ot. 4 évszak van, az évi csapadékmennyiség 500–1000 mm, mely nyugatról kelet felé csökken. A folyók vízjárása ingadozó, két három maximummal jelentkezik (hóolvadás, csapadékmaximum, másodlagos csapadékmaximum). A természetes növénytakaró lombhullató erdő, mely lehet tölgyes, bükkös, helyenként tűlevelű erdővel elegyedve. Az üledékgyűjtő me-

dencék kifejlődése és a paleohidrológiai rendszerek változása rendkívüli ebben a régióban az oligotróf tavaktól a lápokon, mocsarakon át az alluviális síkságig. Viszont tengeri üledékgyűjtő nem fejlődött ki ebben a régióban. Felszínfejlődésére jellemző, hogy a folyók munkája meghatározó, ezért a völgyhálózat sűrű. Ennek nyomán kisebb 5 000-10 000, ritkábban 100 000 km² alluviális üledécsapdák alakultak ki ebben a régióban, a folyók mentén jelentős számú, kisebb méretű, lokális üledékgyűjtő medencét jelentő holtágakkal. Az egész régióban jelentős a mállás, jelenleg az erdőtalajok különböző változatai fejlődnek ki, de a jégkor idején klímafüggő talajok fejlődtek ki ebben a régióban, a váztalajoktól kezdődően, a tundratalajokon át mezősi jellegű, valamint Barna Erdőtalajokig az adott időszakban uralkodó éghajlati, növényzeti, alapkőzetbeli, exogén geológiai adottságoknak megfelelően. Az intenzíven fejlődő talajképződés nyomán a megfelelő földtani adottságú területeken erőteljes karsztosodás zajlott és a mérsékeltövi karszterületekre jellemző valamennyi paleohidrológiai forma kifejlődött ebben a régióban. Az üledékgyűjtő medencék szempontjából a feliszapolódott víznyelők (dolinák) és a legnagyobb kiterjedésű karsztos exogén geológiai formák, a poljék jelentik a legfontosabb karsztos üledékgyűjtő rendszereket paleohidrológiai szempontból. Ugyanakkor fontos megjegyeznünk, hogy a karsztbarlangokban kialakult paleohidrológiai rendszerekben az egyik legfontosabb őshajlati objektumok, a cseppkövek fejlődnek ki. A cseppkövek karbonátos anyagán U/Th korok meghatározásával, a c-14 elemzéstől függetlenül geokronológiai elemzések végezhetőek, és több százezer évig is sikeres kor meghatározásokat alakítottak ki ezeken a paleohidrológiai objektumokon. A növekedési vonalakon végzett izotóp-geokémiai, geokémiai és kronológiai elemzések nyomán a cseppkövek növekedési ütemét, növekedési rátájának változásait, valamint az egykori éghajlati és környezeti viszonyokat lehet rekonstruálni, a növekedési vonalak és ráták nyomán akár éves pontossággal is. A cseppköveken mért adatok alapján vulkán kitöréseket, és azok hatásait az emberi környezetre, az egyes kultúrákra azonosították, illetve egykori éghajlati hatásokat és azok kapcsolatát a különböző kultúrákkal tisztázták. A nedves kontinentális paleohidrológiai régió (nedves kontinentális exogén geológiai - aktuálgeológiai régió) kiemelkedő rendszereit alkotják a karsztos paleohidrológiai rendszerek, de nem kizárólagosan ezeket vonhatjuk be a vizsgálatokba. Ugyanis ezen a területen az igen jelentős számú és kiterjedésű, növényi maradványok megmaradási szempontjából kimagaslóan jó fosszilizációs környezetet biztosító tőzegmoha és tőzegmohás lápok fejlődtek ki, különösen a dombsági és középhegységi régió mélyebb völgyeiben, vagy a magashegységek platószerű felszínein. Az allúviumokon is ismeretes tőzegmohás lápok, de a folyók és patakok allúviumain, holtágaiban, völgyekben is

kialakulnak olyan lápok, amelyek nem tartalmaznak tőzegmohát (*Sphagnum* taxonokat).

A völgyláp folyóvizek, patakok partján hosszan elnyúlik. Vizét részben a környező hegyoldalokról, részben a patakból kapja. A tőzeg csak a völgy alját tölti ki. Az ártéri lápok a folyóból, a környező területekről és a felszín alatti vizekből kapják a vízutánpótlásukat. Viszont ezeknél a lápoknál a vízszint szezonálisan ingadozik. A tőzeg hosszan követhetik a folyómedreket, kitöltve a fosszilis medreket. Ilyen lápok a Duna egykori árterén gyakoriak (pl.: Őrjeg, Vörös-mocsár). A völgylápokat és az ártéri lápokát összefoglaló néven a hazai szakirodalom síklápoknak is nevezi. A síklápok a nedves kontinentális klíma mellett gyakoriak. Jellemző rájuk a sások (*Cyperaceae*) és a pázsitfűvek (*Poaceae*) jelentős aránya. A síklápok sokkal fajgazdagabbak a tőzegmohalápoknál. A tőzegmohák csak alárendelt szerepet játszanak, a tőzegképzésben a nád (*Phragmites communis*) és a különböző sásfajok (*Carex* spp.) szerepe jelentős. A síklápok jellemzője a felvehető tápanyagok és kationok nagyobb mennyisége, a vizük kevésbé savas pH-ja és magasabb konduktivitása. Nagyon hasonlítanak ehhez a típushoz a sekély nagy tavak partján kialakuló lápok (pl.: a balatoni berkek). A nedves kontinentális területeken nagyon jelentősek az úszólápok is, amelyek sokszor karbonátban vagy akár sziksóban gazdag tavak partján vagy sekély vizében is kialakulnak. A lejtőlápok forrásos hegyoldalokban alakulnak ki. Az egyes nedves kontinentális éghajlati területen megjelenő láptípusok nagyobb vizes élőhelyeken gyakran mozaikosan fordulnak elő, és nem ritkák az átmenetek sem. A lápok kialakulásának alapvetően két útja van. A paludifikáció során egy szárazföldi terület láposodik el, és alakul tőzegmohaláppá. A terresztralizáció során a láp egy tó vizét növi be, foglalja el. A síklápok esetében ez első-sorban lebegő növényzet borítja el a vízfelszínt – úszóláp kialakulásával kezdődik el a láposodás. Igen fontosak ezek az úszólápok, melyek néha a lápoktól eléggé idegen szikes vizeken is megjelennek (pl. Fertő-tó, Velencei-tó). A paleohidrológiai feldolgozásnál figyelembe kell venni azt, hogy a különböző láptípusok nem ugyanolyan mértékben alkalmasak paleoklimatológiai vizsgálatokra. A fúrásponthoz megválasztása jelentős mértékben hozzájárul a magas színvonalú klímarekonstrukcióhoz. A mintaterület kiválasztásában legfontosabb tényező a láp hidrológiája. A hidrológiai viszonyok természetesen tükröződnek a láp morfológiájában és növényzetében is. Kisebb tőzeges tavaknál viszont elég egyszerű a fúrásponthoz kiválasztása. Törekedni kell a meder legmélyebb részének megfúrására, hogy minél hosszabb fúrásmintánk legyen. A legmélyebb rész szimmetrikus mederprofil és kerekded partvonal esetében a láp központi részén van. Hosszúkás alakú medrek esetében (pl. feltöl-

tődött holtágak) bonyolultabb a helyzet. Érdeemes áttekinteni a meder növényzetét előzetes terepbejárással, vagy növényzeti térképet készíteni, és a legmélyebb és leginkább feltöltődött részen próbafúrásokat végezni, keresztszelvényt kialakítani. Amennyiben a mederprofil nem szimmetrikus, a fúráspontot nem a meder központi részén, hanem valamelyik parthoz közelebb mélyítjük le. Ez gyakran előfordul például csuszamlással keletkezett medreknél, de felhagyott folyómedreknél is. Előzetesen tanulmányozni kell a terület geomorfológiai viszonyait is. Nagyobb vizes élőhelyeknél a fúráspont kiválasztásánál előzetesen érdemes légi- és űrfelvételeken (pl. GoogleEarth, SPOT4), valamint topográfiai térképeken átvizsgálni a kutatási területet. Igyekezzünk a mesterséges lecsapoló csatornáktól és a bolygatott területektől távolabb fúráspontot keresni. A fúráspont kiválasztásakor törekedni kell arra, hogy gépjárművel - amennyire lehet - tudjuk meg közelíteni. Amennyiben nagyobb választék van a paleohidrológiai fúráspontokból, és régészeti lelőhelyek vannak a közelben, igyekezzünk a régészeti lelőhelyekhez közelebbi fúráspontot kiválasztani, hogy az esetleges antropogén hatások jobban kimutathatóak legyenek az egykori hidrológiai rendszerre vonatkozóan, mivel napjaink egyik legfontosabb paleohidrológiai kutatási területe az ember és környezet, jelen esetben. Napjaink kutatásai már eljutottak arra szintre, hogy adatbázist építettek ki a lápi – tavi rétegek vizsgálata során és az elmúlt 15 – 20 ezer év során felhalmozódott üledékek nyomán évszázados felbontásban tudja tárgyalni a környezeti változás trendjeit, különösen az egykori kultúrák közösségeinek és a természeti tényezők kapcsolatát. Ilyen adatbázist sikerült kiépíteni Szegeden, ahol 139 db, radiokarbon adatokkal feltárt, döntően üledékgyűjtő medencét sikerült az adatbázisba kiépíteni. Jelenleg ezek az adatok alkotják a napjainkban zajló éghajlat változás indukálta környezet átalakítás legfontosabb alapjait.

Ajánlott irodalom

- Bánffy, E.2004. A régészet öndefiníciós válsága. Tudományközi beszélgetések: régészet. *Világosság*, 54, 86-90
- Gulyás S., Sümegi P. 2012. Édesvízi puhatestűek a környezetrégészetben. Geolitera Kiadó, Szeged, 168 pp.
- Jakab, G., Sümegi, P. 2011. Negyedidőszaki makrobotanika. Geolitera Kiadó, Szeged, 252 pp.
- Sümegi P. 1998. Az utolsó 15000 év környezeti változásai és hatásuk az emberi kultúrákra Magyarországon. In: Ilon, G. (szerk.) A régésztechnikusok kézikönyve. Savaria Múzeum Kiadványa, Szombathely, 367 - 397.
- Sümegi P. 2001. Környezetrégészet problémái Magyarországon. MOMOSZ, Fiatal Őskoros Kutatók I. Összejövetelének konferenciakötete, Debrecen, 17 – 49.

- Sümei P. 2003. Régészeti geológia és történeti ökológia alapjai. JATEPress, Szeged, 224 pp.
- Sümei P., Kertész R., Rudner, Z.E. 2003. Magyarország rövid környezettörténete. In: Vissy Zs. (szerk.) Magyar Régészet az ezredfordulón. Nemzeti Kulturális Örökség Minisztériumának Kiadványa, Budapest, 51-56.
- Töröcsik T., Sümei P. (2018): Pollen alapú növénytermesztési rekonstrukció a Kárpát, medencében a magyar honfoglalás korában In: Szónokyné Ancsin, G. (szerk.) Magyarok a Kárpát, medencében 3, Tudományos Nemzetközi Konferencia, Szeged, Egyesület Közép-Európa Kutatására, (Közép-európai monográfiák; 17, 17-35.

Összefoglalás

A jelenlegi környezeti válság egyik legsúlyosabb része a világtengereket, a szárazföldön kialakult édesvízi rendszereket, köztük a gleccsereket, szárazföldi jégtakarókat, tavakat, lápokot érinti. Éppen ezért az előadás célja, hogy a hallgatók áttekintő ismeretek birtokába jussanak a bolygónk paleohidrológiai rendszereinek kialakulásáról, természetes fejlődéséről és ennek a fejlődéstörténetnek a rekonstrukcióját lehetővé tevő geológiai és öslénytani tényezőkről. A paleohidrológiai ismeretek elmélyítik a Föld hidroszféra, atmoszféra és az egykori bioszféra kialakulását és kapcsolatát, és ennek nyomán képessé válunk a hosszú távú környezeti összefüggések, kölcsönhatások megértésére.

Kulcsszavak: paleohidrológia, környezeti krízis, környezettörténet, vízkörforgás, utolsó 2000 év